

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

Veröffentlichungsnummer: **0 656 515 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **94115956.8**

(51) Int. Cl.⁶: **F26B 21/06, F26B 23/00**

(22) Anmeldetag: **10.10.94**

(30) Priorität: **01.12.93 DE 4340940**

D-35510 Butzbach (DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.06.95 Patentblatt 95/23

(72) Erfinder: **Leisenberg, Wolfgang, Dr.-Ing. Prof.**
Rosenstrasse 19
D-61231 Bad Nauheim (DE)

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE FR GB IT LI NL

(74) Vertreter: **Engelhardt, Guido, Dipl.-Ing.**
Patentanwalt
Montafonstrasse 35
D-88045 Friedrichshafen (DE)

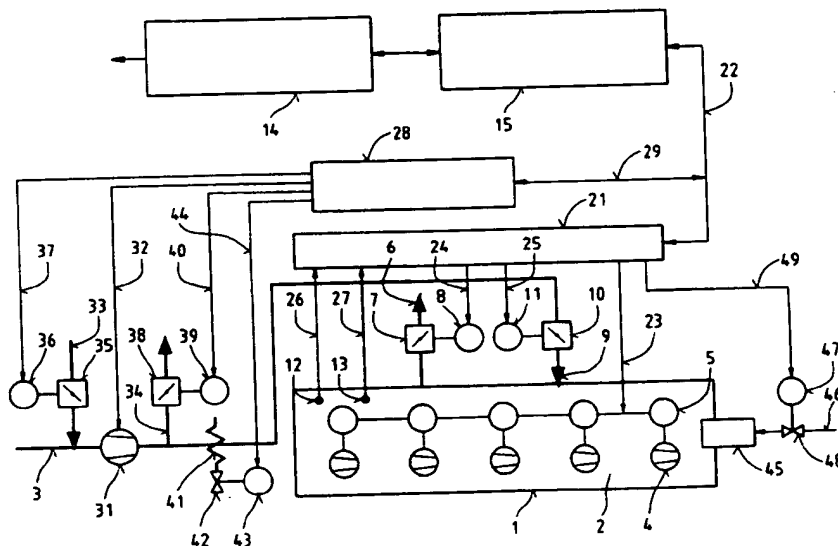
(71) Anmelder: **Innovatherm Prof. Dr. Leisenberg**
GmbH + Co. KG
Roter Lohweg 22

(54) **Verfahren zur Steuerung von Trocknern in Ziegelwerken.**

(57) Nach einem Verfahren zur Steuerung von Trocknern der keramischen Industrie, die mit einer Außen- und/oder Innenheizung und im Verbund mit einem Tunnelofen betrieben werden und bei denen durch ein empirisches oder mathematisches Modell des Trockenvorganges der Austrocknungszustand der Kammern näherungsweise bestimmt wird, wird der Verlauf der Luftzustandswerte und/oder der Konvektionsleistung der einzelnen Kammern in Abhängigkeit von den Produkten, der verfügbaren Trockenzeit

und der verfügbaren Ofenabwärme unter dem Gesichtspunkt eines minimalen Gesamtenergie- bzw. Energiekostenaufwandes selbsttätig ausgewählt oder berechnet und als Trocknungsprogramm gestartet.

Durch diese Verfahrensweise wird erreicht, daß mit den vorgegebenen Randbedingungen eine automatische Optimierung des Wärmeverbrauchs erzielt und dadurch in einem Betrieb, ohne daß große anlagentechnische Investitionen erforderlich sind, die Energie- und Personalkosten reduziert werden.



EP 0 656 515 A1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Steuerung von Trocknern, vorzugsweise von Kammertrocknern, der keramischen Industrie, die mit einer Außen- und/oder Innenheizung und im Wärmeverbund mit einem Tunnelofen betrieben werden und bei denen durch ein empirisches oder mathematisches Modell des Trockenvorgangs der Austrocknungszustand einer Kammer näherungsweise bestimmt wird.

Die Herstellung von grobkeramischen Produkten ist äußerst wärmeenergieintensiv. Die Minimierung der Prozeßwärme ist daher eine ökonomische und ökologische Forderung.

Der in Mitteleuropa vorherrschende Naßverpressungsprozeß zur Herstellung der meist stranggezogenen Produkte erfordert zwei energieintensive Verfahrensschritte, nämlich das Trocknen und das Brennen der Produkte, wobei die Wärme etwa zu 2/3 für das Trocknen und etwa zu 1/3 für das Brennen benötigt wird.

Anlagenspezifisch ist als Randbedingung vorgegeben, daß am Tunnelofen ständig Abwärme anfällt. Durch die Produktionszeit der Formgebung ist bei den meisten Werken eine 5-tägige Beschickung des Trockners in ein bis zwei Schichten und eine 7-tägige Beschickung des Tunnelofens rund um die Uhr vorgegeben.

Viele Kammern der meist als Kammertrockner ausgeführten Trockner besitzen eine Innenbeheizung, die eine schnellere und energie günstigere Trocknung erlaubt. Da die meisten Rohstoffe innerhalb von 24 bis 48 h getrocknet werden, besteht besonders am Wochenende weniger Wärmebedarf am Trockner als der Tunnelofen als Abwärme abgibt, während in der Mitte der Woche das Wärmeangebot des Tunnelofens nicht ausreicht, also am Trockner zugeheizt werden muß.

Man hat sich nun meist in der Weise geholfen, daß am Wochenende energieintensive Produkte mit langen Trockenzeiten getrocknet werden oder zusätzliche Kammern gebaut wurden, die am Wochenende in Betrieb genommen werden. Weiterhin wird durch manuellen Eingriff am Wochenende eine Kammer nach der anderen eingeschaltet oder die Trockenzeit gestreckt, um mit der verfügbaren Ofenabwärme zu trocknen und diese möglichst vollständig zu nutzen. Allerdings sind diese Eingriffe kapital- oder personalintensiv. Zudem erfordern die Steuereingriffe eine gute Kenntnis der Verfahrenstechnik, können also nicht ohne genaue Vorgaben von unqualifizierten Mitarbeitern ausgeführt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es nunmehr, ein Verfahren zur Steuerung von Trocknern in Ziegelerwerken der eingangs genannten Art zu schaffen, mittels dem es möglich ist, mit den vorgegebenen Randbedingungen eine automatische Optimierung des Wärmeverbrauchs zu erreichen und dadurch in

einem Betrieb, ohne daß große anlagentechnische Investitionen erforderlich sind, die Energie- und Personalkosten in einem erheblichen Maße zu senken.

Gemäß der Erfindung wird dies dadurch erreicht, daß der Verlauf der Luftzustandswerte und/oder der Konvektionsleistung der einzelnen Kammern in Abhängigkeit von den Produkten, der verfügbaren Trockenzeit und der verfügbaren Ofenabwärme unter dem Gesichtspunkt eines minimalen Gesamtenergie- bzw. Energiekostenaufwandes selbsttätig ausgewählt oder berechnet und als Trocknungsprogramm gestartet wird.

Zweckmäßig ist es hierbei, daß zunächst durch ein empirisches oder physikalischmathematisches Modell des Trockenvorgangs der Austrocknungszustand einer Kammer zumindest näherungsweise berechnet wird und daß sodann bei vorgegebener Ofenabwärme und Trockenzeit unter dem Gesichtspunkt minimalen Gesamtenergieaufwandes der Trocknung und/oder des Gesamtwärmeverbundes von Tunnelofen und Trockner selbsttätig ein energetisch optimiertes Trocknungsprogramm erstellt wird.

Bei einem vorgegebenen Produktionsprogramm ist es angebracht, zuerst den Verlauf des Energiebedarfs für den Trockner und über ein Modell des Tunnelofens den Verlauf des Energieangebotes des Tunnelofens vorauszuschätzen und daraufhin den Bedarf und das Angebot innerhalb der vom Betrieb vorgegebenen Produktionstermine anzupassen.

Außerdem ist es vorteilhaft, durch die Einbindung eines Rohstoffmodells in das Trocknungsmodell die maximale Trockengeschwindigkeit und deren Abhängigkeit von der Temperatur für eine vorgegebene Produktionsgeometrie und für einen oder mehrere Trockenabschnitte zu ermitteln, wobei das Rohstoffmodell bei gegebenem Rohstoff mindestens die Abhängigkeit der Trockengeschwindigkeit von der Geometrie und/oder von der Temperatur im ersten Trocknungsabschnitt enthält.

Weitere Verfahrensschritte sowie vorrichtungstechnische Maßnahmen zur Anwendung dieses Verfahrens ergeben sich aus den weiteren Ansprüchen.

Das erfindungsgemäße Steuerungsverfahren besteht demnach aus einem Bündel von einzelnen Verfahrensschritten, die sowohl den Energieverbrauch des Trockners selbst als auch den Energieverbund mit dem Tunnelofen betreffen.

Kernstück des Verfahrens ist aber die flexible Trockenablaufsteuerung mit rechnerischer Verfolgung des Trockenfortschritts in den Kammern bzw. in dem Trockentunnel.

Der Zusammenhang zwischen der Trockengeschwindigkeit und den Luftzustandsgrößen ist der Struktur nach für den ersten und zweiten Trocken-

abschnitt bekannt.

Damit dieses mathematische Modell automatisch an den jeweiligen Betriebszustand angepaßt werden kann, wird es adaptiv ausgeführt, d. h. es wird anhand der gemessenen Luftzustands- und Volumenstromwerte mit dem realen Trockner abgeglichen. Damit ist sowohl eine begleitende Verfolgung des Austrocknungszustandes z. B. bei einer ungesteuerten Kammer als auch eine vorausschauende Abschätzung des Energie- und Luftbedarfes bei vorgegebenem Trockenprogramm und Trocknerbelegung möglich.

Die Einbindung eines Rohstoffmodells in das Steuerungskonzept erlaubt eine automatische energieoptimale Anpassung von Trockenkurven unter Berücksichtigung der Rohstoffgrenzwerte, wie maximale Trockengeschwindigkeit und deren Abhängigkeit von der Temperatur. Dieses Rohstoffmodell kann reduziert sein auf Korrekturwerte bzw. Korrekturfunktionen für die zulässige Trockengeschwindigkeit im ersten Trockenabschnitt.

Der erste Abschnitt ist wichtig, da hier bereits der erste steuerungstechnische Ansatz liegt: Bei jeder Formlingstemperatur ist ein spezifischer Anfangsluftzustand optimal. Zunächst muß nämlich die temperaturabhängige maximale Trockengeschwindigkeit berücksichtigt werden. Diese hängt bei konstanter Strömungsgeschwindigkeit in erster Näherung linear von der Dampfdruckdifferenz zwischen Formlingsoberfläche und Luft ab.

Bei dem derzeit üblichen festen, also formlingstemperaturunabhängigen Anfangswert des Luftzustands wird entweder bei höherer als angenommener Formlingstemperatur ein zu niedriger Sättigungsgrad der Luft und eine zu niedrige Trockengeschwindigkeit erreicht oder bei niedrigerer Formlingstemperatur eine zu hohe Trockengeschwindigkeit bzw. sogar eine Kondensation an den Formlingen. Eine automatische Anpassung des Luftzustandes an die Formlingstemperatur ist also sowohl für den thermischen Wirkungsgrad als auch für die Trockengeschwindigkeit von Bedeutung.

Allerdings ist es schwierig, die Formlingstemperatur direkt zu messen. Daher wird im erfindungsgemäßen Steuerungsverfahren die Kammer bzw. der Abschnitt mit den frisch beladenen Formlingen für eine bestimmte Zeit ohne Wärmezufuhr nur mit der Umwälzung betrieben und die Gleichgewichtstemperatur der Luft gemessen. Diese ist näherungsweise gleich der mittleren Formlingstemperatur. Ein Korrekturfaktor, der die Streuung und die Vortemperatur der Kammerwände berücksichtigt, kann die Messung ergänzen.

Bei vorgegebener Trockenzeit berechnet das Steuerungssystem unter Berücksichtigung der maximalen Trockengeschwindigkeit die hieraus mögliche kürzeste Trockenzeit. In erster Näherung kann hierfür beim ersten Trockenabschnitt (feuchte

Formlingsoberfläche) das Integral der Partialdruckdifferenz über die Zeit als Verdampfungsleistung oder ein genaueres Wärme- und Stoffübergangsmodell verwendet werden.

Für den zweiten Trockenabschnitt gilt als Näherung ein exponentieller Abfall der Trockengeschwindigkeit bei gleichem Luftzustand, die gegebenenfalls durch den Temperaturverlauf am Formling korrigiert werden kann. Auch hier sind zur Erfassung der Formlingstemperatur eine oder mehrere Phasen ohne Energiezufuhr hilfreich, um über die Lufttemperatur die Formlingstemperatur zu schätzen.

Die aus der erfahrungsbasierten Modellrechnung ermittelte kürzeste Trockenzeit ist normalerweise nicht identisch mit der Laufzeit der Kammer bis zur Entladung. Diese Zeitreserve soll nun in ein möglichst energie günstiges Trockenprogramm eingearbeitet werden.

Dabei sind zwei Gesichtspunkte zu berücksichtigen: Nicht alle Trockenabschnitte weisen den gleichen spezifischen Energiebedarf auf. So steigt der thermische Energiebedarf zum Trocknungsende hin stark an. Durch das erfindungsgemäße Steuerungsverfahren wird durch Simulationsläufe der für die verfügbare Zeit günstigste Trockenverlauf berechnet, wobei die verfügbare Zeit unter Konstanthaltung der Gesamttrockenleistung zur Reduzierung Trockenphasen mit dem ungünstigsten thermischen Wirkungsgrad eingesetzt werden.

Andererseits ist auch der elektrische Energiebedarf ein erheblicher Kostenfaktor. Auch die als Umwälzleistung verfügbare elektrische Leistung wird durch das vorschlagsgemäße Steuerungsverfahren berücksichtigt. Die Umwälzleistung geht nämlich als Strömungsgeschwindigkeit bzw. als Wärme- bzw. Stoffübergangskoeffizient in die Trocknungsgeschwindigkeit ein. Bei geringerer erforderlicher Trocknungsgeschwindigkeit kann also entweder die Dampfdruckpartialdruckdifferenz oder die Strömungsgeschwindigkeit oder beides vermindert werden. Dabei führt die Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit zu einer größeren Ungleichmäßigkeit der Austrocknung in der Kammer, was einen zusätzlichen Zeitbedarf erfordert. Dies muß das genauere Trocknermodell berücksichtigen.

Das Steuerungsverfahren enthält daher ein Modul, der bei vorgegebenen Energiepreisen für Wärme und Strom das optimale Verhältnis von Wärme- und Stromeinsatz ermittelt und bei vorgegebener Trocknerleistung und Trockenzeit das dafür richtige Trockenprogramm berechnet.

Als Hilfsgröße zur Erkennung des Trockenfortschritts und damit zur Modellkorrektur sieht das Steuerungsverfahren eine optimale Leitfähigkeitsmessung vor, die den Strom zwischen zwei Metallplatten mißt, auf denen die Formlinge liegen, und

die selbst auf einer voneinander isolierten aber zur Latte hin leitenden Metallauflage liegen. Damit kann das Abtrocknen der Oberfläche und damit das Ende des ersten Trockenabschnitts sicher erkannt werden.

Diese Steuerungsstrategie erfordert eine Anpassung der Umwälzleistung an die jeweilige Betriebssituation. Man könnte dies durch Anpassung der Volumenströme über Klappen oder die Ventilator-drehzahl bewerkstelligen. Das hätte allerdings den Nachteil, daß das Strömungsprofil und die Reichweite sich mit der Leistung verändern. Daher ist es - auch aus Kostengründen - sinnvoller, die Umwälzlüfter zu schalten und ihre relative Einschalt-dauer zu variieren.

Um eine noch bessere Homogenität zu erreichen, insbesondere keine Pausen ohne jede Konvektion, ist des weiteren eine sequentielle Schaltung der einzelnen Umwälzlüfter vorgesehen. Durch Korrekturfaktoren der Einschalt-dauer für die einzelnen Lüfter kann eine weitere Optimierung des elektrischen Energieverbrauchs erreicht werden.

Damit läßt das Steuerungsverfahren beispielsweise mit fortschreitender Austrocknung eine schrittweise Verminderung der Konvektion zu.

Da die verfügbare Ofenabwärme nicht immer bekannt ist, muß sie durch das Steuerungsverfahren ermittelt werden. Dazu wird zunächst der Druck und gegebenenfalls auch die Temperatur in der Heißluftleitung auf einem festen Wert gehalten.

Am Wochenende werden die Kammern des Trockners in ihrer Steuerung durch das Steuerungssystem automatisch von Innenbeheizung auf Außenbeheizung umkonfiguriert. Vom Betriebspersonal wird in einer Prioritätsliste festgelegt, welche Prioritäten für die einzelnen Kammern in der Reihenfolge ihrer Fertig-trocknung gelten sollen. Weiterhin wird durch eine Codierung der Produkte festgelegt, ob eine Antrocknungsphase oder eine Mindestbeaufschlagung mit Warmluft erforderlich ist. Dieser Mindestbeaufschlagung ist ein spezielles Warteprogramm zugeordnet, das vom Steuerungssystem gestartet wird. Auch hier kann eine Abstimmung von Luftzustand und Konvektion mit dem Ziel der Energieoptimierung vorgesehen werden.

Das System stellt nun zuerst diese Mindestversorgung sicher. Dann erhält die am höchsten priorisierte Kammer des Trockners eine Freigabe des energieoptimierten Programms, dann die Kammer mit der nächsthöchsten Priorität, usw.

Bei einer der folgenden Kammern wird nun die Heißluftmenge nicht mehr ausreichen und der Druck auf der Heißluftleitung sinken. Sobald das System dies erkennt, wird das Programm dieser Kammer abgebrochen. Das Steuersystem verwendet nun die Heißluftklappen dieser Kammer als Stellglied in einem Druckregelkreis für die Heißluft. Die Kammer selbst wird bezüglich ihres Luftzu-

stands nicht geregelt, aber bezüglich ihres Austrocknungsgrades durch das Trocknermodell verfolgt. Erreicht der Luftzustand den Wert, der dem regulären Trockenprogramm entspricht, so setzt dieses auf der dem Trocknungsgrad äquivalenten Trockenzeit auf und arbeitet auf dem regulären Programm weiter, das für eine Höchsttrockenzeit energieoptimiert ist. Die nun überschüssige Heißluft wird in die nächstpriorisierte Kammer geleitet, die nun als Stellglied für die Heißluft-Druckregelung fungiert. Dies geschieht nun so lange, bis auch für diese Kammer genug Wärme verfügbar ist. Auch die gegenläufige Bewegung ist möglich, daß also die niedrigspriorisierte geregelte Kammer wieder in einen ungeregelten Zustand zurückkehren muß, weil das Wärmeangebot vom Tunnelofen sich reduziert hat.

In jedem Fall verfolgt das Trocknermodell den Trockenzustand, so daß bei genügendem Wärmeangebot die Kammer auf der äquivalenten Trockenzeit des regulären Programms aufsetzt.

Wird mittels des Steuerungssystems festgestellt, daß das Wärmeangebot nicht ausreicht, um die vorgesehenen Fertig-trocknungstermine zu erreichen, so schaltet es einen Zusatzbrenner ein oder die betreffenden Kammern auf Innenbeheizung um. Das Steuerungssystem ist in der Lage, innenbeheizte Kammern modulierend von Außen- auf Innenheizung und zurück umzukonfigurieren und Kammern in ihrer Luftzufuhr von außen zu begrenzen, so daß der Druck in der Heißluftleitung aufrecht erhalten wird. Es ist auch in der Lage, den Wärmebedarf des Trockners z. B. am Wochenende an das Angebot des Tunnelofens in der Weise anzupassen, daß Kammern mit Innenheizung ab einem erforderlichen Zeitpunkt auf Außenheizung umgestellt, also umkonfiguriert und mit einem äquivalenten Programm weiterbetrieben werden.

Das Steuerungssystem kann bei bekanntem Produktionsprogramm den Verlauf des Energiebedarfs für den Trockner vorausschätzen. Wird in das Steuerungssystem ein Modell des Tunnelofens eingebunden, so läßt sich der Verlauf des Energieangebotes vom Tunnelofen ebenfalls vorausschätzen. Ergibt sich für einen Zeitraum ein Überangebot vom Ofen, so können Bedarf und Angebot innerhalb der vom Betrieb vorgegebenen Produktions-termine angepaßt werden.

Dies kann am Tunnelofen durch Anpassung der Schubzeit und am Trockner durch frühzeitige Umschaltung von Innenauf Außenheizung oder durch Abschaltung des Zusatzbrenners geschehen.

Daneben ist es möglich, durch Veränderung der Kühlzonensteuerung Energie in gewissen Grenzen zu speichern und sie später vermehrt abzugeben, wenn dies aus der Bedarfskurve möglich ist. Auch die Speicherung von Wärme in heißen Ofenwagen in einem wärmeisolierten Tunnel kann sinn-

voll sein. Entscheidend als Randbedingung ist, daß möglichst wenig nicht verwertbare Überschußwärme vom Tunnelofen entsteht.

Ist eine Fahrweise mit Null-Abwärme nicht möglich, so wird mit dem Produktions- oder Betriebsleiter interaktiv eine Änderung der Produktfolge im Trockner und/oder Tunnelofen vorgeschlagen.

In der Zeichnung ist in einer schematischen Darstellung ein Kammertrockner wiedergegeben, der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren betreibbar ist.

Mit 1 ist die Kammer eines Trockners bezeichnet, der mehrere derartige unabhängige Kammern aufweist und in deren Innenräume 2 keramische Formlinge getrocknet werden. Dem Trockner wird dazu von einem nicht gezeigten Tunnelofen ein Heißluftstrom 3 zugeführt. In jede der Kammern 1 gelangt davon ein Teilstrom 9, der über eine durch einen Motor 11 antreibbare Klappe 10 geregelt werden kann. Dieser Teilstrom wird in den einzelnen Kammern, die mit jeweils einem Antriebsmotor 5 ausgestatteten Ventilatoren 4 bestückt sind, umgewälzt. Den Kammern 1 kann des weiteren jeweils ein Abluftstrom 6, der mittels einer durch einen Motor 8 antreibbaren Klappe 7 zu regeln ist, entnommen werden. Ferner sind in den einzelnen Kammern 1 des Trockners jeweils ein Feuchtsensor 12 sowie ein Temperatursensor 13 angeordnet.

Dem Trockner ist ein Rechner 15 zugeordnet, der mit einem Rechner 14 des Tunnelofens verknüpft ist. Und an den Rechner 15 ist über eine Steuerleitung 22 je Kammer ein Steuermodul 21 angeschlossen, mit dem über Steuerleitungen 23, 24, 25, 26 und 27 sowohl die Motore 5 der in dem Trockner angeordneten Ventilatoren 4 als auch die den Regelklappen 7 und 10 zugeordneten Motore 8 bzw. 11 als auch die Feuchte- und Temperatursensoren 12 bzw. 13 angeschlossen sind. Mittels des Steuermoduls 21 ist es somit möglich, den Verlauf der Luftzustandswerte und/oder der Konvektion der einzelnen Kammern 1 des Trockners und der Produkte in Abhängigkeit von der verfügbaren Trockenzeit und der verfügbaren Ofenabwärme unter dem Gesichtspunkt eines minimalen Gesamtenergie- bzw. Energiekostenaufwandes selbsttätig auszuwählen oder zu berechnen und als Trocknungsprogramm zu steuern.

Die Kammern 1 des Trockners können nicht nur von außen beheizt werden, sondern es ist auch möglich, diese mittels eines Brenners 45 innen zu beheizen. Dem Brenner 45 wird hierbei über eine Leitung 46 Brennstoff zugeführt, in die ein durch einen Motor 47 antreibbares Absperrventil 48 eingesetzt ist. Über eine weitere Steuerleitung 49 ist der Motor 47 des Absperrventils 48 ebenfalls an das Steuermodul 21 angeschlossen, der Brenner

45 kann somit zusammen mit den Regelklappen 7 und/oder 10 sowie den Ventilatoren 4 gesteuert werden.

Auch der dem Trockner zugeführte Heißluftstrom 3 ist steuerbar, und zwar mittels eines Ventilators 31 und/oder durch Zuführung eines Frischluftstromes 33 und/oder durch Abfuhr eines Abluftstromes 34. Dem Frischluftstrom 33 wie auch dem Abluftstrom 34 ist jeweils eine Regelklappe 35 bzw. 38 zugeordnet, deren Antriebsmotore 36 bzw. 39 über Steuerleitungen 37 bzw. 40 an ein weiteres Steuermodul 28 angeschlossen sind, das über eine Steuerleitung 29 mit dem Rechner 15 und dem Steuermodul 21 verknüpft ist. Des weiteren kann der Heißluftstrom 3 durch einen Brenner 41 zusätzlich aufgeheizt werden, dessen Brennstoffzufuhr durch ein Ventil 42 steuerbar ist. Ein an das Ventil 42 angeschlossener Motor 43 ist über eine Steuerleitung 44 mit dem Steuermodul 28 verbunden, ebenso der in dem Heißluftstrom 3 eingesetzte Ventilator 31 über eine Steuerleitung 32, so daß auch die über den Heißluftstrom 3 zugeführte Wärmeenergie in Abhängigkeit von dem Energiebedarf des Trockners steuerbar ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung von Trocknern, vorzugsweise von Kammertrocknern der keramischen Industrie, die mit einer Außen- und/oder Innenheizung und im Wärmeverbund mit einem Tunnelofen betrieben werden und bei denen durch ein empirisches oder mathematisches Modell des Trockenvorgangs der Austrocknungszustand einer Kammer näherungsweise bestimmt wird,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Verlauf der Luftzustandswerte und/oder der Konvektionsleistung der einzelnen Kammern in Abhängigkeit von den Produkten, der verfügbaren Trockenzeit und der verfügbaren Ofenabwärme unter dem Gesichtspunkt eines minimalen Gesamtenergie- bzw. Energiekostenaufwandes selbsttätig ausgewählt oder berechnet und als Trocknungsprogramm gestartet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß zunächst durch ein empirisches oder physikalisch-mathematisches Modell des Trockenvorgangs der Austrocknungszustand der Kammer zumindest näherungsweise berechnet wird und daß sodann bei vorgegebener Ofenabwärme und Trockenzeit unter dem Gesichtspunkt minimalen Gesamtenergieaufwandes der Trocknung und/oder des Gesamtwärmeverbundes von Tunnelofen und Trockner selbsttätig

ein energetisch optimiertes Trocknungsprogramm erstellt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß einem vorgegebenen Produktionsprogramm zuerst der Verlauf des Energiebedarfs für den Trockner und über ein Modell des Tunnelofens der Verlauf des Energieangebotes des Tunnelofens vorausgeschätzt werden und daß daraufhin der Bedarf und das Angebot innerhalb der vom Betrieb vorgegebenen Produktionstermine angepaßt werden.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß durch die Einbindung eines Rohstoffmodells in das Trocknungsmodell die maximale Trockengeschwindigkeit und deren Abhängigkeit von der Temperatur für eine vorgegebene Produktionsgeometrie und für einen oder mehrere Trockenabschnitte ermittelt wird, wobei das Rohstoffmodell bei gegebenem Rohstoff mindestens die Abhängigkeit der Trockengeschwindigkeit von der Geometrie und/oder von der Temperatur im ersten Trocknungsabschnitt enthält.
5. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß anhand des Trocknungs- und des Rohstoffmodells der Verlauf der Luftzustands- und Konvektionswerte bei maximal rohstoffseitig zulässiger bzw. verfahrenstechnisch möglicher Trocknungsgeschwindigkeit abgeleitet wird.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Ermittlung des energieoptimalen Verlaufs der Luftzustands- und/oder Konvektionswerte der einzelnen Kammern durch Ermittlung der optimalen Extremtrockenzeiten, d.i. der kürzestmöglichen und längsten energieoptimalen Trockenzeit unter vorzugsweise linearer Interpolation der Luftzustands- und/oder Konvektionswerte, erfolgt.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß aus einer Auswahl von voroptimierten Trocknungsprogrammen das jeweils günstigste ausgewählt wird.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7,

dadurch gekennzeichnet,
daß zur Ermittlung der energie günstigsten Trockenkurve die Formlingstemperatur einbezogen wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß zur Erfassung der Formlingstemperatur die Kammer für eine zur Bestimmung des Gleichgewichtszustandes ausreichende Zeit ohne Wärmezufuhr nur mit der Umwälzung betrieben und die Gleichgewichtstemperatur der Luft bestimmt wird und daß diese direkt oder mit einem Korrekturfaktor, der die Streuung der Formlingstemperaturen und den Verlauf der Temperatur vor der Beladung berücksichtigt, beaufschlagt wird.
10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß als Hilfsgröße zur Erkennung bzw. Überprüfung des Trockenfortschritts, insbesondere zur Erkennung des Endes des ersten Trockenabschnitts, eine Leitfähigkeitsmessung vorgenommen wird, in dem der Strom zwischen zwei Metallträgern, auf denen Formlinge liegen, gemessen wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß als Hilfsgröße zur Erkennung bzw. Überprüfung des Trockenfortschritts, insbesondere zur Erkennung des Endes des zweiten Trockenabschnitts, die Formlingstemperatur verwendet wird.
12. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
daß die zu erreichende Endfeuchte produktabhängig vorgegeben wird.
13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12,
dadurch gekennzeichnet,
daß abhängig von der Abweichung von vorgegebenem und tatsächlichem Austrocknungsgrad das Trocknungsprogramm selbsttätig korrigiert wird.
14. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet,
daß nach einem festen produktionsabhängigen bzw. ofenabwärmeabhängigen Zeitplan die Kammern durch das Steuerungssystem automatisch von Innenbeheizung auf Außenbehei-

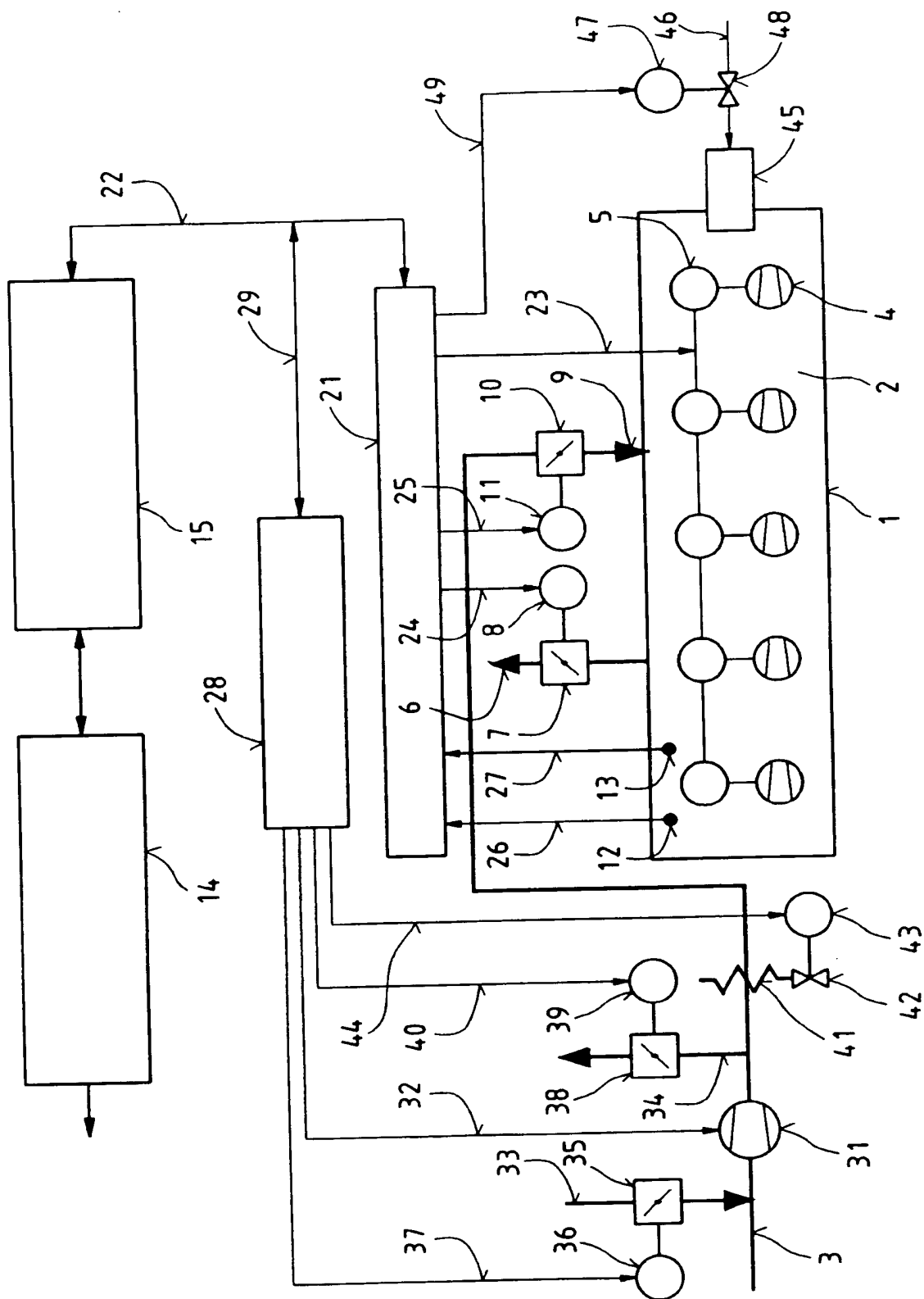
zung umgestellt werden.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14,
dadurch gekennzeichnet,
daß eine synchrone Schaltung der Luft- und/oder Energiezufuhr zu in dem Trockner angeordneten Umwälzlüftern mit ihrer Einschaltung erfolgt.
16. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Druck auf der Heißluftleitung als Kriterium dafür verwendet wird, ob das Wärmeangebot des Tunnelofens dem Bedarf des Trockners entspricht.
17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16,
dadurch gekennzeichnet,
daß die für eine programmgemäße Versorgung nicht mehr ausreichende Heißluft vom Ofen der nächstpriorisierten noch nicht gestarteten Kammer zugeführt wird und deren Heißluftklappe als Stellglied in einem Druckregelkreis für die zentrale Heißluftversorgung verwendet wird.
18. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 17,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Ermittlung des kostenoptimalen Verlaufs von Dampfdruckpartialdifferenz und mittlerer Strömungsgeschwindigkeit durch deterministische Rechnung oder durch Simulationsläufe mit einer Optimierungsstrategie erfolgt und zur Erstellung des Trocknungsprogramms verwendet wird.
19. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 18,
dadurch gekennzeichnet,
daß die bezüglich ihres Luftzustandes nicht geregelte Kammer in ihrem Austrocknungsgrad durch das Trocknermodell verfolgt wird und bei Erreichen einer Energieversorgung, die das reguläre Trockenprogramm zuläßt, auf der dem Trocknungsgrad äquivalenten Trockenzeit aufsetzt und sodann nach dem Trockenprogramm weiterarbeitet.
20. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 19,
dadurch gekennzeichnet,
daß die niedrigstpriorisierte programmgeregelte Kammer in einen ungeregelten Zustand zurückgeführt wird, sobald bei Verschiebung des

Wärmeangebotes bzw. des Bedarfs das Energieangebot für das reguläre Programm nicht mehr ausreicht.

21. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 20,
dadurch gekennzeichnet,
daß bei für die vorgegebene Trockenzeit unzureichendem Wärmeangebot ein Zusatzbrenner ein- oder die betreffende Kammer auf Innenbeheizung umgeschaltet werden.
22. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 21,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Umschaltung der Kammern von Außen- auf Innenbeheizung unter Auswahl der günstigsten spezifischen Wärmeverbrauchs oder nach einem festen Zeitplan erfolgt.
23. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 22,
dadurch gekennzeichnet,
daß bei Überangebot von Wärme vom Tunnelofen vorzugsweise die im zweiten Trockenabschnitt befindlichen Kammern mit überschüssiger Wärme versorgt werden und unter Berücksichtigung des Fertig Trocknungs termins die mittlere Strömungsgeschwindigkeit entsprechend reduziert wird.
24. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 23,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Anpassung des Wärmeangebots vom Ofen durch Veränderung der Schubzeit vorgenommen wird.
25. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 24,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Anpassung des Wärmebedarfs am Trockner durch Umschaltung von Innen- auf Außenbeheizung und/oder durch Abschaltung des Zusatzbrenners erfolgt.
26. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 25,
dadurch gekennzeichnet,
daß durch Veränderung der Kühlzonensollwerte am Tunnelofen Energie gespeichert und später abgezogen wird.
27. Verfahren nach Anspruch 26,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Speicherung von Wärme im heißen Ofenwagen in einem wärmeisolierten Tunnel erfolgt.

28. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 27,
dadurch gekennzeichnet,
daß bei nicht vermeidbarer Abwärme eine kostenoptimierte Änderung der Produktfolge im Trockner und/oder im Tunnelofen vorgeschlagen wird. 5
29. Trockner, insbesondere Kammertrockner zur Anwendung des Verfahrens nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 28, 10
dadurch gekennzeichnet,
daß die Trockenkammer mit Umwälzlüftern versehen ist, die integrierte, einzeln oder in Gruppen steuerbare Heizaggregate und/oder 15
einzeln steuerbare Zuluftklappen aufweisen.
30. Verfahren nach Anspruch 29,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Umwälzlüfter mit einer sequentiellen Schaltung der einzelnen Umwälzlüfter versehen sind, die eine individuelle, gruppenweise oder Gesamtsteuerung der relativen Einschalt- 20
dauer erlaubt. 25
31. Verfahren nach Anspruch 29 oder 30,
dadurch gekennzeichnet,
daß die einzelnen Heizaggregate mit einer sequentiellen Schaltung versehen sind, die eine individuelle, gruppenweise oder Gesamtsteuerung der relativen Einschalt- 30
dauer erlaubt und mit der Lüftersteuerung synchronisiert ist. 35
- 40
- 45
- 50
- 55





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 94 11 5956

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	DE-C-38 22 703 (NIEBERDING) * das ganze Dokument *	1	F26B21/06 F26B23/00
A	US-A-1 499 227 (KYLE)		
A	WO-A-85 02249 (TEKMA OY)		
A	FR-A-2 582 644 (VEB ZIEGELWERKE HALLE-STAMMBETRIEB DES ET AL)		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			F26B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 10. März 1995	Prüfer Silvis, H
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)